

COMUNI DI BITTI, ORUNE E BUDDUSO'
PROVINCE DI NUORO E SASSARI



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE PARCO EOLICO "GOMORETTA"

Elaborato : EP_GEO_R002_rev01

Scala : -

Data : 04/06/2019

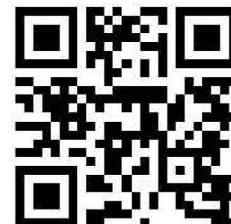
Relazione Previsionale dell'impatto
dovuto alle vibrazioni

COMMITTENTE :
Siemens Gamesa Renewable Energy Italy S.p.A.

RESPONSABILE TECNICO COMMESSA :
Dott. Ing. Gianluca Mercurio

COORDINAMENTO :

Bm Studio Tecnico Industriale
Dott. Ing. **Bruno Manca**



N° REVISIONE	Data revisione	Elaborato	Controllato	Approvato	NOTE
Rev.01	04/06/2019	CA	GMERCURIO	GMERCURIO	A4 (210x297mm)

E' vietata la copia anche parziale del presente elaborato

Gruppo di lavoro : Dott.ssa in Arch. Giorgia Campus
Dott.ssa Ing. Barbara Dessì
Dott.ssa in Arch. Elisabetta Zucca

REDATTORE:
Dott. Geol. Cosima Atzori



Cosima Atzori

INDICE

1. PREMESSA E FINALITA' DELLO STUDIO.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....	3
4. PROPRIETA' MECCANICHE DEL TERRENO	5
4.1. <i>Inquadramento geologico generale.....</i>	<i>5</i>
4.2. <i>Campagna indagini di caratterizzazione geotecnica e sismica.....</i>	<i>7</i>
4.2.1. MASW 01.....	10
4.2.2. MASW 02.....	11
4.2.1. MASW 03.....	12
4.3. <i>Modello geologico di sito 01 (A e B).....</i>	<i>13</i>
4.4. <i>Modello geologico di sito 02.....</i>	<i>13</i>
4.5. <i>Tabella di sintesi delle proprietà dei terreni di interesse.....</i>	<i>13</i>
5. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO.....	15
6. MODELLO DI PROPAGAZIONE DELL'ONDA NEL TERRENO.....	17
7. VALUTAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL SITO IN PROGETTO	17
8. SORGENTI DI VIBRAZIONE	19
8.1. <i>Analisi delle fasi di cantiere per la costruzione delle opere in progetto.....</i>	<i>19</i>
8.2. <i>Modello per il calcolo dell'impatto dovuto alle vibrazioni in fase di cantiere.....</i>	<i>20</i>
8.3. <i>Scenari di riferimento di cantiere.....</i>	<i>21</i>
8.4. <i>Scenari di riferimento di esercizio.....</i>	<i>21</i>
9. LIMITI DI RIFERIMENTO	22
10. RICETTORI.....	24
11. MODALITÀ DI GESTIONE DEL DISTURBO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI	25
11.1. <i>Criteri di azione e misure di mitigazione.....</i>	<i>25</i>
11.2. <i>Spettri di emissione delle macchine operatrici.....</i>	<i>27</i>
11.2.1. Propagazione delle vibrazioni di un rullo compressore	27
11.2.2. Propagazione delle vibrazioni indotte da una pala cingolata	28
11.2.3. Propagazione delle vibrazione da un autocarro	29
11.2.4. Propagazione delle vibrazione da un escavatore cingolato	30
11.2.5. Propagazione delle vibrazione da un martello idraulico	31
12. CONCLUSIONI.....	32

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1- Ubicazione aerogeneratori "Settore 1".....	4
Figura 3.2- Ubicazione aerogeneratori "Settore 2".....	5
Figura 4.1- Stralcio Fg.194 "Ozieri" - Carta Geologica d'Italia,1972	6

PROGETTO DEFINITIVO

Figura 4.2- Ubicazione delle indagini geognostiche	8
Figura 4.3 - Ubicazione degli stendimenti	9
Figura 7.1 - Valutazione Vr rispetto al modello geologico di riferimento	18
Figura 9.1 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza.....	22
Figura 9.2 - Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta	23
Figura 9.3 - Curva di ponderazione per un asse generico	23
Figura 9.4 - Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014).....	24
Figura 11.1 - Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere	27
Figura 11.2 - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_01A_2	27
Figura 11.3 - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_2.....	27
Figura 11.4 – Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere	28
Figura 11.5 - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_1	28
Figura 11.6 - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_01A_2	28
Figura 11.7- Spettro di emissione della sorgente di un autocarro a 10m dall'asse di cantiere.....	29
Figura 11.8- Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_2.....	29
Figura 11.9 - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_01A_2	29
Figura 11.10 - Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato a 5m dall'asse di cantiere	30
Figura 11.11- Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_01A_2	30
Figura 11.12- - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_2.....	30
Figura 11.13- Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico a 5m dall'asse di cantiere	31
Figura 11.14- Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_01A_2	31
Figura 11.15- - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_2.....	31

PROGETTO DEFINITIVO**1. PREMESSA E FINALITA' DELLO STUDIO**

La caratterizzazione della qualità dell'ambiente in relazione agli effetti delle vibrazioni deve consentire di individuare e stimare le modifiche e/o le interferenze introdotte dall'intervento proposto e valutarne la compatibilità con gli standard esistenti, in riferimento alla verifica sia del disturbo da esse potenzialmente generate sull'uomo, sia di un eventuale potenziale danno agli edifici per la salvaguardia del patrimonio architettonico/archeologico.

Il presente documento tecnico riporta la valutazione previsionale dei livelli di vibrazione previste, durante le fasi di cantiere, sui ricettori sensibili più vicini alle aree di installazione degli aerogeneratori del Parco Eolico e alla viabilità interessata, nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "Gomoretta" dislocato nei territori comunali di Bitti, Orune e Buddusò e sulla viabilità laddove sono previste lavorazioni (es. posa del cavidotto o sistemazione stradale). La stima dei livelli di vibrazione attesi presso i ricettori sensibili identificati secondo quanto indicato nella normativa vigente all'area di progetto ed il loro confronto con i limiti vibrazionali sono stati eseguiti secondo le prescrizioni, le indicazioni e le modalità contenute nelle normative tecniche vigenti.

La **vibrazione** prodotta da macchine e strumenti di cantiere, di seguito definite **sorgenti**, si propaga attraverso il substrato geologico che su di essa agisce operando un filtraggio in funzione della **natura geolitologica** dei terreni e si attenua con l'aumentare della **distanza** dai **ricettori**. La vibrazione quindi arriva ad interagire con le fondazioni delle strutture edificate e tale interazione dipende dal tipo di fondazione, dal tipo di costruzione e dal suo stato di conservazione.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

In Italia non esiste ancora una normativa specifica di settore pertanto la presente è redatta facendo riferimento a normativa UNI ed ISO con particolare riferimento a:

- **UNI 9614/2017** "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
- **UNI 9916/2014** "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni negli edifici";
- **ISO 2631-2:2003** Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

L'area che interessa le opere in progetto è situata nel territorio comunale di Bitti tra Punta Gomoretta (852 m s.l.m.) e i rilievi a sud della valle del Rio de Toddunele per il Settore 1 (n. 3 aerogeneratori) mentre nel territorio comunale di Orune si sviluppa il Settore 2 (n.10 aerogeneratori) dal rilievo nei pressi di P.ta Punzurra (824 m s.l.m.) sito in comune di Bitti, e procede secondo una direzione NE lungo i rilievi di Fruncu Sa Capra (842 m s.l.m.), fino a Sa Elena e Serra (814m s.l.m.).

La sottostazione elettrica in progetto andrà ubicata in agro di Buddusò, ad est del centro abitato, in prossimità del km 43 della S.S. 389.

PROGETTO DEFINITIVO

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. Serie 25 **Tav.481 II, Tav. 482 III**
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10000 – **Sez. 481120, 481160, 482090, 482130**

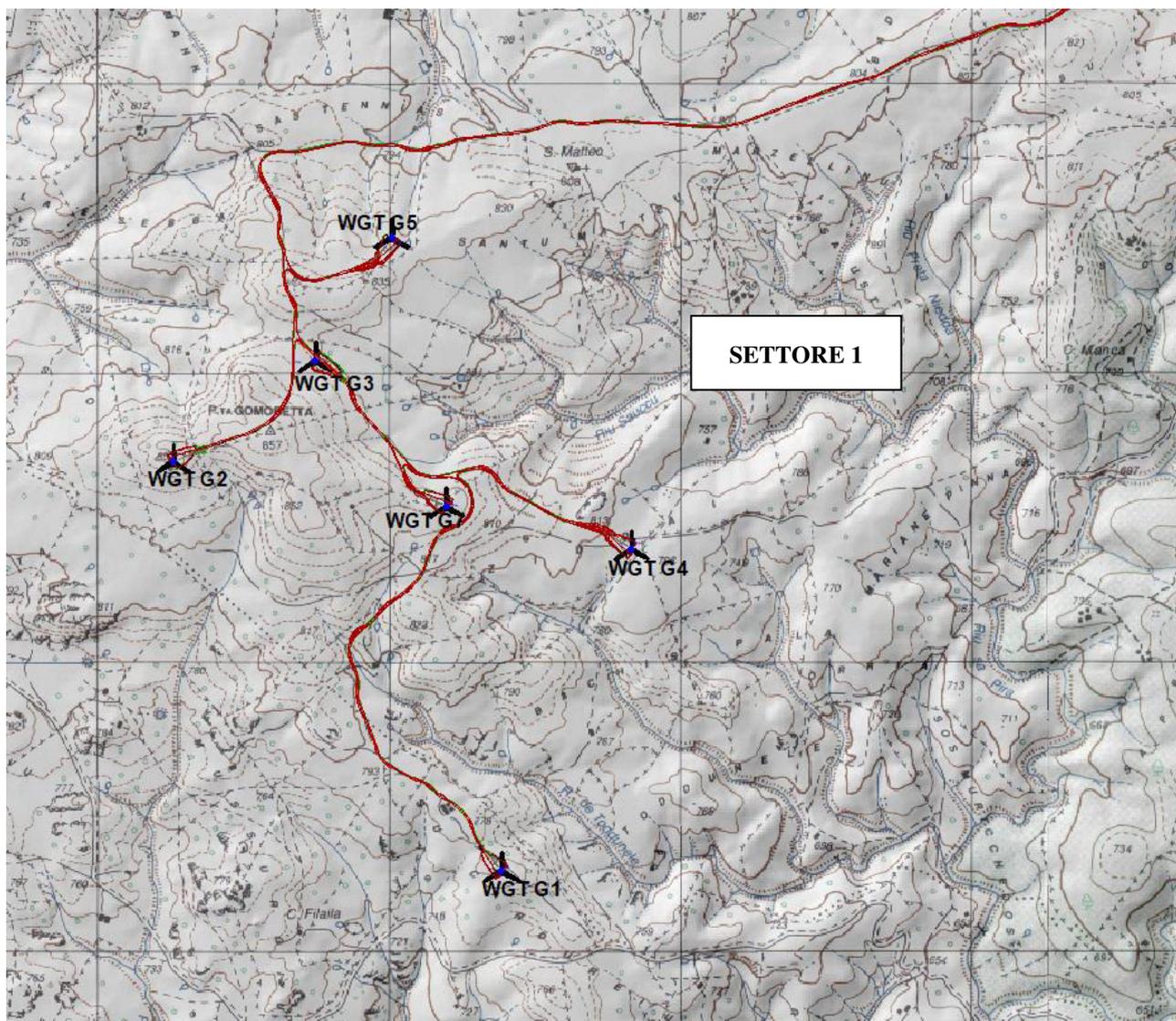


Figura 3.1- Ubicazione aerogeneratori "Settore 1"

Le coordinate dei punti di installazione delle torri eoliche nel sistema di riferimento GAUSS-BOAGA sono:

No. (*)	Easting (m)	Northing (m)	No. (*)	Easting (m)	Northing (m)
WGT G1	1526339	4478097	WGT G8	1532362	4476140
WGT G2	1525211	4479509	WGT G9	1532611	4476480
WGT G3	1525700	4479857	WGT G10	1532974	4477271

PROGETTO DEFINITIVO

WGT G4	1526785	4479208	WGT G11	1533367	4477536
WGT G5	1525961	4480283	WGT G12	1533734	4477832
WGT G6	1534648	4478486	WGT G13	1534509	4477904
WGT G7	1526149	4479355			

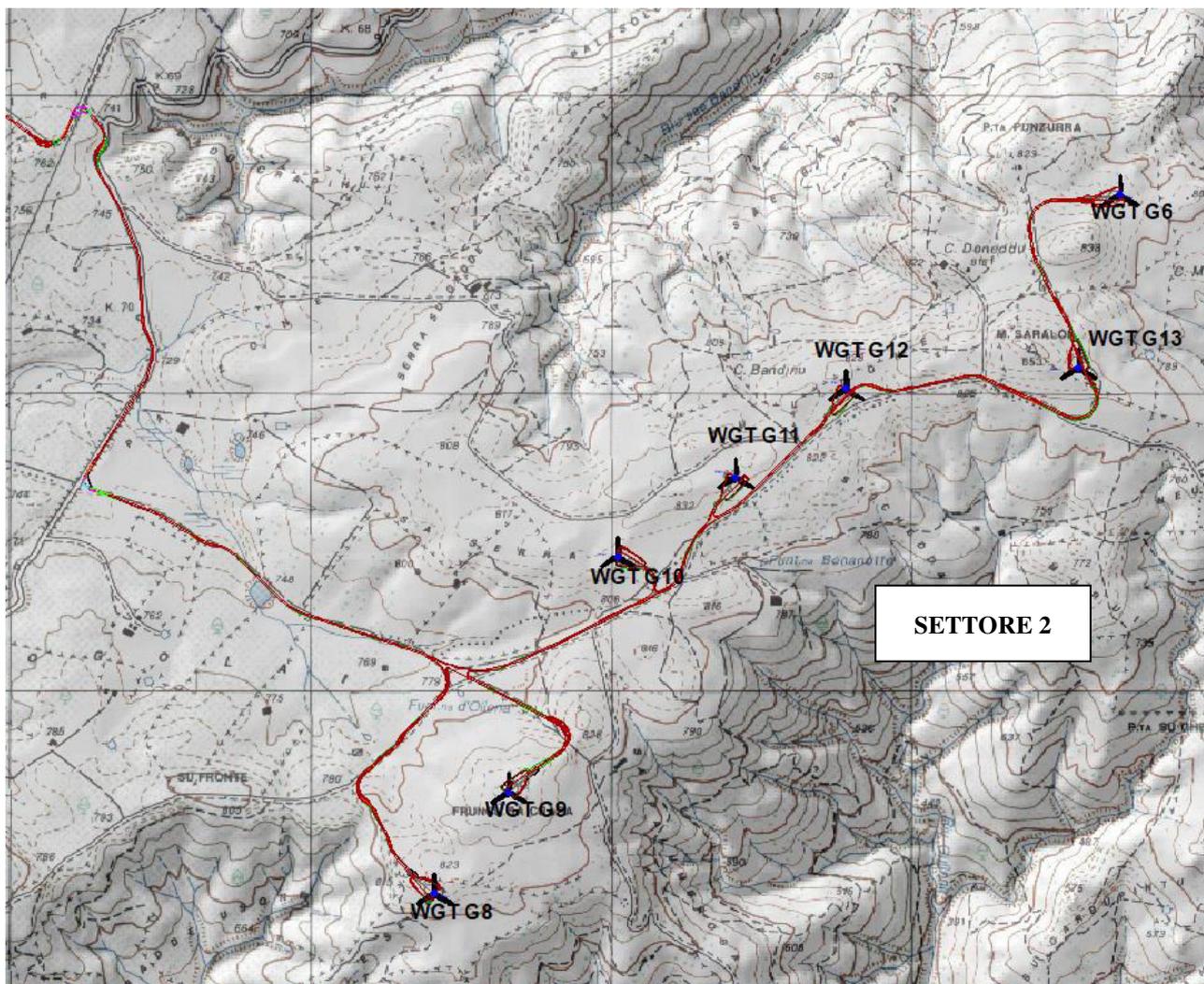


Figura 3.2- Ubicazione aerogeneratori "Settore 2"

4. PROPRIETA' MECCANICHE DEL TERRENO

4.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

¹L'area oggetto di indagine è costituita in prevalenza da litologie appartenenti al Paleozoico, rappresentate dal complesso metamorfico-sedimentario, dal complesso intrusivo ercinico e dal

¹ F. Demurtas, 2013 - Studio Geologico e Geotecnico "Parco Eolico Gomoretta"

PROGETTO DEFINITIVO

sistema filoniano tardo-ercinico. Sono attribuibili al Quaternario i depositi in alveo e i detriti di versante.

I termini metamorfici appartengono in scala più ampia al "Complesso metamorfico ercinico prevalentemente in facies anfibolitica"², costituito da una importante, monotona successione terrigena di quarziti, metarenarie e micascisti, rappresentate da più facies a vario grado evolutivo, prevalentemente scistose e polifasiche, riferibili all'Ordoviciano sup.- Siluriano.

All'interno di questo Complesso alcuni Autori³ distinguono i termini prevalentemente filladici (micascisti a muscovite e biotite), presenti nell'area sud - est in esame, a Nord dell'abitato di Orune (località Fruncu sa Capra), per passare, con un aumento graduale e non definito di cristallinità da SE verso NW, verso termini gneissici con aumento nel contenuto in feldspati (metarenarie quarzose feldspatiche) in località P.ta Gomoretta.

I termini filladici sono caratterizzati da un colore grigio con toni verde-bruni o rossastri sovrapposti, presentano scistosità per lo più ondulata, rivelando una lineazione tettonica costante e un medio metamorfismo, testimoniato anche dalla abbondanza in biotite. I termini gneissici sono caratterizzati da aspetto e colore variabile, dal grigio, grigio - verde, al bruno - nerastro e presentano tessitura per lo più scistoso piana, in essi sono ampiamente diffuse lenti quarzose.

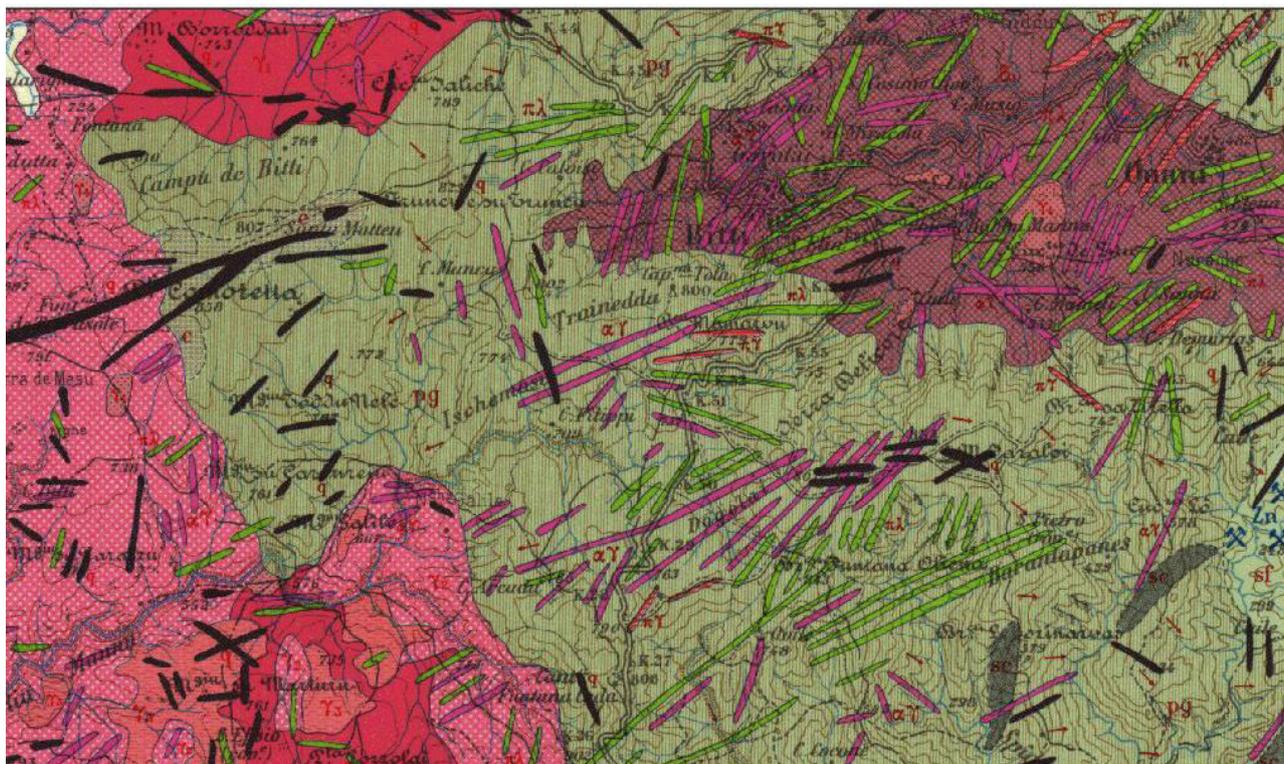


Figura 4.1- Stralcio Fg.194 "Ozieri" - Carta Geologica d'Italia,1972

² Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Eltrudis A., Funedda A., Pasci S. (1992): Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna a Scala 1:200.000 - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato - Roma.

³ D'Amico C. (1960) - Relazione sul rilevamento geologico delle Tavole orientali del Quadrante Bitti F° 194 (Ozieri e petrografia delle formazioni rocciose - Boll. Serv. Geol. It. n. 80.

PROGETTO DEFINITIVO

Le metamorfiti si manifestano intensamente strutturate, sia per via del loro carattere originariamente sedimentario, sia per le azioni di metamorfismo che hanno incrementato la fissilità, sia ancora per l'elevato grado di tettonizzazione.

In tali depositi, si intrudono i prodotti di magmatismo intrusivo quali granodioriti monzogranitiche, biotitiche, a grana medio-grossa, inequigranulari per Kfs biancastri di taglia 8-10 cm; tessitura orientata per flusso magmatico, che caratterizzano l'area a ovest a quella di interesse per il progetto.

Nell'area, il Quaternario è rappresentato da una modesta copertura detritica di versante, costituita dai prodotti di alterazione delle rocce metamorfiche, presente in modo discontinuo lungo i versanti, in particolare nel settore meridionale del rilievo Fruncu Sa Capra in corrispondenza delle maggiori pendenze dove spesso l'alta scistosità contribuisce ad accentuare la sfaldabilità della roccia che causa locali smottamenti e il movimento di tali detriti.

Lungo le aste tributarie di primo e secondo ordine sono riconoscibili depositi torrentizi, ove presenti, di modesto spessore, costituiti da ciottoli per lo più spigolosi poco arrotondati, in matrice arenaceo -limosa spesso cementata.

4.2. CAMPAGNA INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

Al fine di definire le caratteristiche geologico-geotecniche dei siti di imposta degli aerogeneratori, in aggiunta alle informazioni contenute nella Relazione Geologica circa l'assetto geologico, idrogeologico e geotecnico di area vasta, nel maggio 2013 è stata realizzata una campagna di indagini in sito con l'intento di indagare nello specifico le condizioni geologiche-idrogeologiche e geotecniche nel volume significativo interessato dalle opere di fondazione degli aerogeneratori.

A tale scopo sono stati realizzati n. 4 sondaggi a carotaggio continuo, mediante sonda cingolata, della profondità di 5 m ciascuno, dei quali n. 2 nel settore 1, e n. 2 nel settore 2. Nella pianificazione delle indagini è stato inoltre ritenuto utile programmare una serie di prove penetrometriche SPT (Standard Penetration Test) lungo i fori di sondaggio

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti nella seconda decade del mese di maggio 2013, i primi due sono stati eseguiti lungo la strada comunale in località Fruncu sa Capra (settore 2), i restanti lungo la strada in località Gomoretta (settore 1). L'ubicazione dei sondaggi è stata stabilita in modo tale da avere un quadro uniforme dei due settori oggetto di indagine, al fine di avere un quadro geometrico ben definito sull'andamento del basamento lapideo in profondità.

Di seguito viene riportata l'ubicazione delle indagini:

Sondaggio	Località	Coordinate EST (GB)	Coordinata NORD (GB)	Profondità (m)	SPT quota (m da p.c.)	Nspt
S_01	<i>F.na Bonanotte</i>	1533157	4477204	5,00	1,05	27-38-42
S_02	<i>Neulache</i>	1534652	4477643	5,00	0,50	35-48-R
RS_03	<i>Sas Tennias</i>	1525395	4480715	5,00	0,40	42-47-R
S_04	<i>Badde e Terrinu</i>	1525395	4480715	5,00	-	-

PROGETTO DEFINITIVO

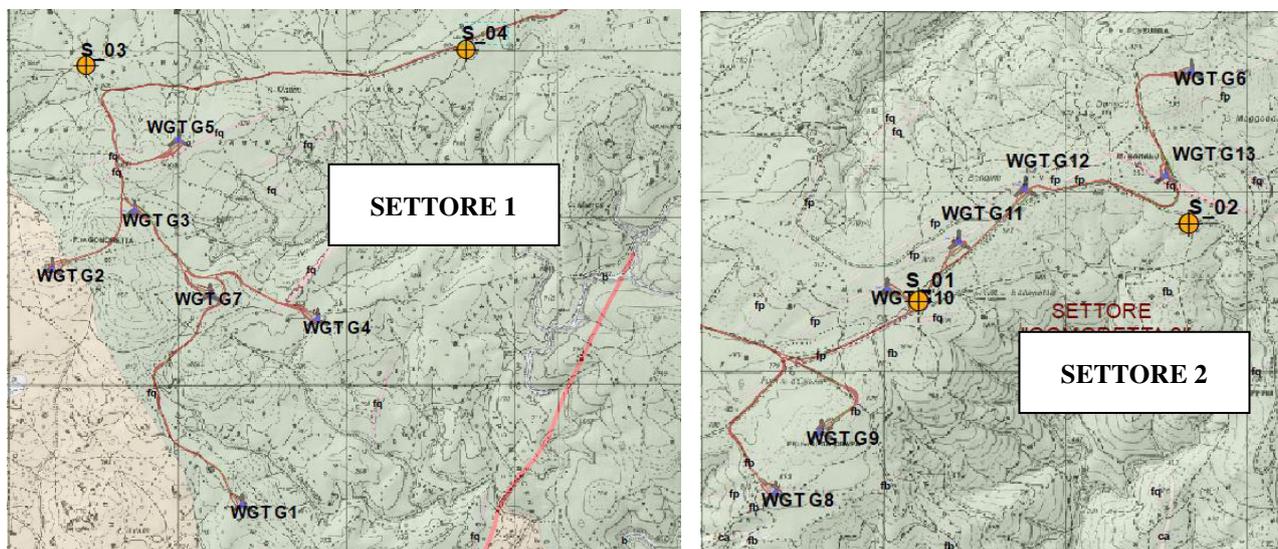


Figura 4.2- Ubicazione delle indagini geognostiche

Su tutte le verticali, in generale superati i primi 5-10cm di suolo vegetato, si incontra uno strato di roccia alterata dello spessore che varia da 40cm a 100cm per poi passare alla roccia sana. Durante i sondaggi sono state effettuate delle prove penetrometriche standard (SPT) per definire i parametri geotecnici dello strato alterato della roccia.

In questa campagna non sono stati effettuati sondaggi sulle litologie intrusive, di particolare interesse per l'aerogeneratore WGT G1 e WGT G2. Pertanto, per questi si farà riferimento a dati di campagna e di letteratura.

Nel mese di ottobre 2018, è stata realizzata una campagna di indagini integrativa mediante prospezione geofisica finalizzata al miglioramento delle conoscenze finora definite con le precedenti campagne dei litotipi interessati dagli interventi.

La prospezione geofisica è stata realizzata attraverso l'impiego della tecnica della sismica a rifrazione con elaborazione tomografica e della MASW ha permesso di ricostruire con buon grado di precisione l'assetto lito-stratigrafico dell'area in esame e dedurne le caratteristiche sismiche. Sono stati realizzati nr.3 stendimenti come ubicati in figura.

PROGETTO DEFINITIVO



Figura 4.3 - Ubicazione degli stendimenti

PROGETTO DEFINITIVO

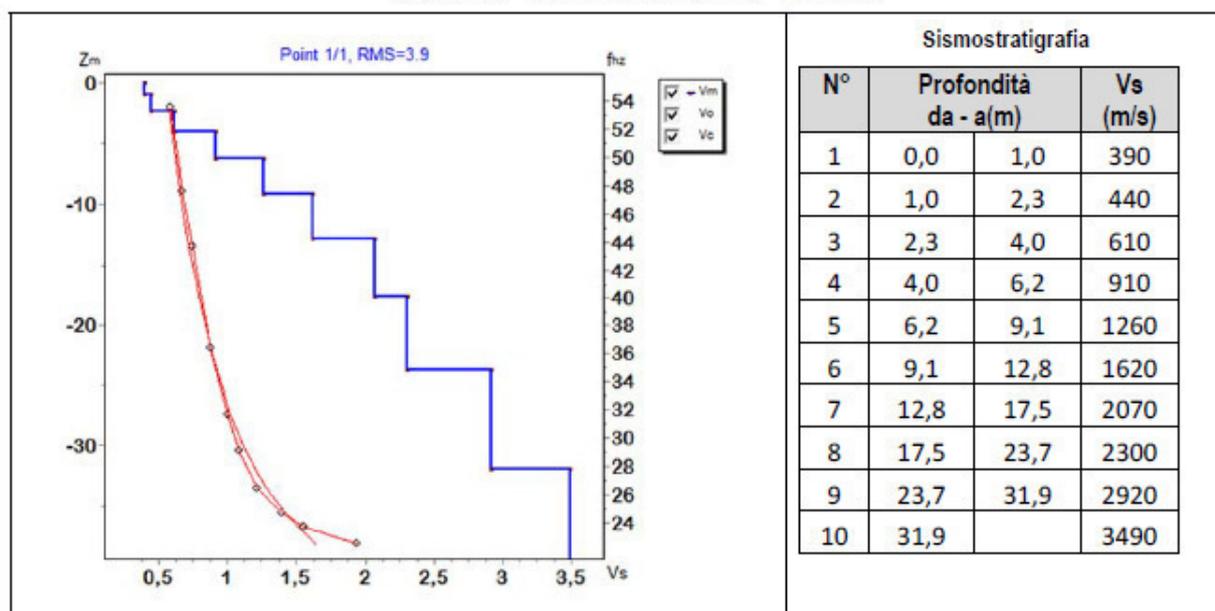
Di seguito si riportano in sintesi le caratteristiche geotecniche stimate e di velocità di propagazione delle onde S e P ottenute attraverso i profili MASW.

4.2.1. MASW 01

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione **M1**, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 4,0	1° sismostrato con Vs tra 390 e 610 m/s, terre e/o rocce scavabili
4,0– 6,2	2° sismostrato con Vs tra 610 e 910 rocce tenere e/o mediamente fratture
6,2 – 12,8	3° sismostrato con Vs tra 910 e 1620 m/s, substrato roccioso integro o poco fratturato
12,8 - 23,7	4° sismostrato con Vs tra 1620 e 2920 m/s , substrato roccioso integro o poco fratturato
>23,7	5° sismostrato con Vs >di 2920 m/s , substrato roccioso integro o poco fratturato

MASW M1 - PROFILO Vs (Vs eq= 485 m/s)



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:
 hi spessore dell'i-esimo strato;
 Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **4,0 m** (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4.0 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{S,eq} = 4.03/0,01072 = 485 \text{ m/s},,$$

ciò consente di classificare il terreno come **Categoria B-Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

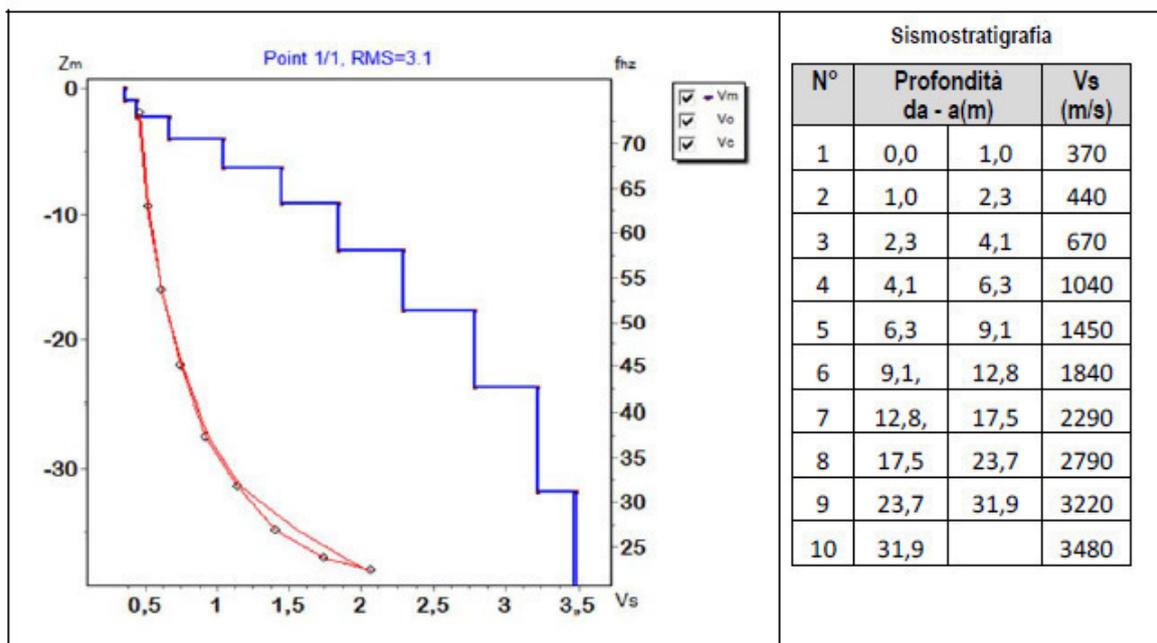
PROGETTO DEFINITIVO

4.2.2. MASW 02

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 4,1	1° sismostrato con Vs tra 370 e 670 m/s, terre e/o rocce scavabili
4,1 – 12,8	2° sismostrato con Vs tra 670 e 1840 rocce tenere o mediamente fratturate
12,8 – 23,7	3° sismostrato con Vs tra 1840 e 2790 m/s substrato roccioso integro o poco fratturato
>23,7	4° sismostrato con Vs > 2790 m/s substrato roccioso integro o poco fratturato

MASW M2 - PROFILO Vs (Vs eq= 490 m/s)



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:
 hi spessore dell'i-esimo strato;
 Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 4,1 m (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4.1 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s,eq} = 4,1/0,008365 = 490 \text{ m/s}$$

ciò consente di classificare il terreno come *Categoria B-Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

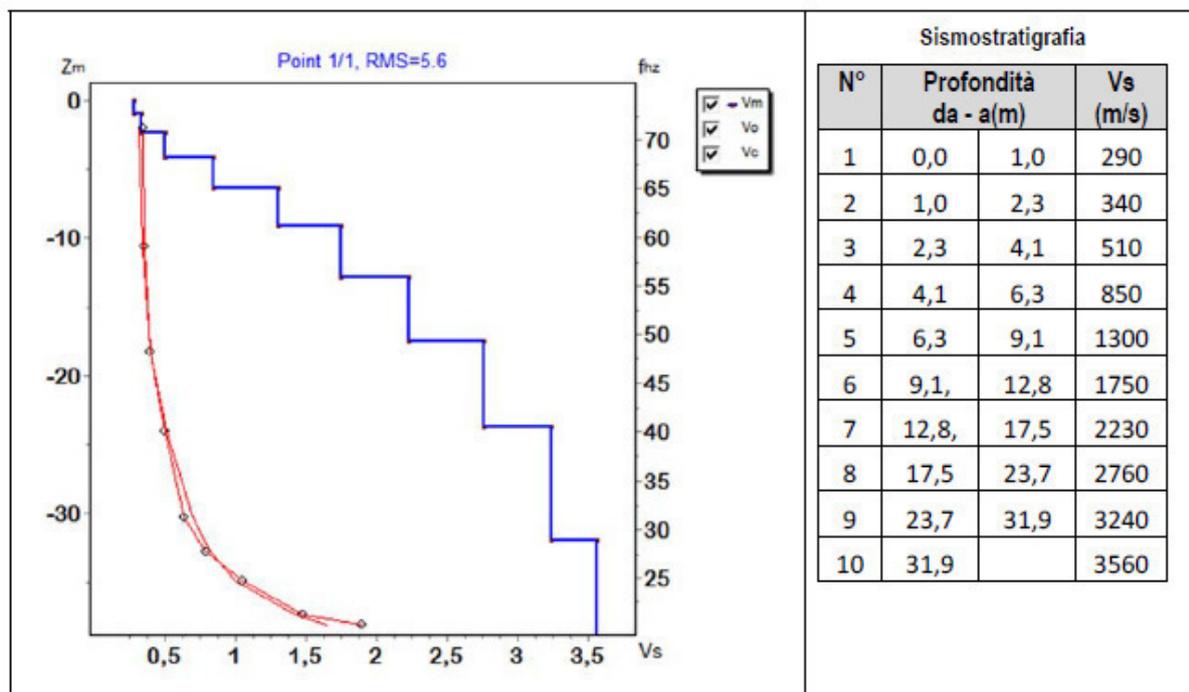
PROGETTO DEFINITIVO

4.2.1. MASW 03

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M3, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 4,1	1° sismostrato con Vs tra 290 e 510 m/s, terre e/o rocce scavabili
4,1 – 9,1	2° sismostrato con Vs tra 510 e 1300 rocce tenere o mediamente fratturate
9,1 – 23,7	3° sismostrato con Vs tra 1300 e 2760 m/s substrato roccioso integro o poco fratturato
>23,7	4° sismostrato con Vs > 2760 m/s substrato roccioso integro o poco fratturato

MASW M3 - PROFILO Vs (Vs eq= 373 m/s)



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:
 hi spessore dell'i-esimo strato;
 Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 4,1 m (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4.1 m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s eq} = 4,1/0,010994=373 \text{ m/s},,$$

ciò consente di classificare il terreno come *Categoria B-Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

PROGETTO DEFINITIVO

Sulla base dei dati raccolti è stato quindi possibile definire il **modello geologico del sito** che viene di seguito riassunto.

Se per il Settore 2 il modello è uniforme, caratterizzato dalla costante presenza del litotipo A (metamorfiti) al quale si appoggia uno strato di spessore variabile di roccia alterata, per il Settore 1 alcune turbine sono impostate su limite di passaggio tra le metamorfiti e le rocce intrusive granitoidi. Pertanto, si ritiene di dover distinguere due modelli geologici su cui fare riferimento.

4.3. MODELLO GEOLOGICO DI SITO 01 (A E B)

Settore 2 e Settore 1 (WGT G2, WGT G3, WGT G4, WGT G5, WGT G6, WGT G7, WGT G8, WGT G9, WGT G10, WGT G11, WGT G12, WGT G13)

0,15m – 0,50m di spessore **LITOTIPO A** – suolo più o meno evoluto, con frammenti vegetali, colore bruno

0,30m – 1.30m di spessore **LITOTIPO B** – alterazione della roccia sottostante metamorfica, in genere sciolta, asciutta, di colore beige costituita da ciottoli a spigoli vivi in matrice limoso sabbiosa.

da profondità variabile da **0,45m a 1,70m** da p.c. – **LITOTIPO C** – roccia metamorfica in posto molto fratturata con fratture da aperte libere a serrate e riempite di materiale argilloso-limoso.

4.4. MODELLO GEOLOGICO DI SITO 02

Settore 1 (WGT G1) (da verificare con indagini dirette)

0,30m di spessore **LITOTIPO A** – suolo più o meno evoluto, sabbioso con frammenti vegetali, colore bruno/beige

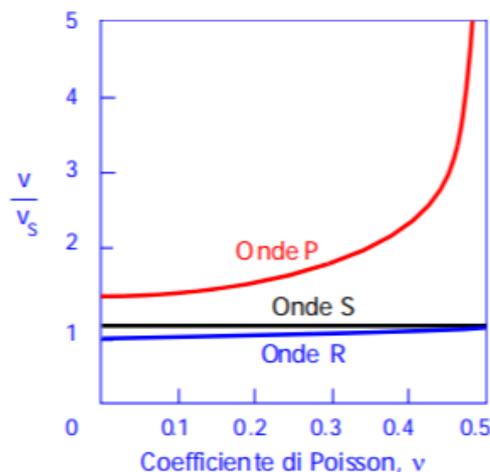
0,30m – 1,00m di spessore **LITOTIPO B** – alterazione della roccia madre sottostante, in genere sciolta, asciutta, di colore beige costituita da ciottoli a spigoli vivi in matrice limoso sabbiosa.

da profondità variabile da 0,45m a 1,70m da p.c. – **LITOTIPO D** – roccia granitica in posto molto fratturata con fratture da aperte libere a serrate e riempite di materiale argilloso-limoso.

4.5. TABELLA DI SINTESI DELLE PROPRIETÀ DEI TERRENI DI INTERESSE

Di seguito si riporta la stima del valore di V_r (m/sec) in relazione alla misura di V_s effettuata mediante l'indagine geofisica tipo MASW correlate come da schema riportato di fianco:

il rapporto V_p/V_s dipende dal coefficiente di Poisson;



PROGETTO DEFINITIVO

in genere la Vr è sempre di poco inferiore della Vs.

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0-1	370	0,35	346,32
1-2,3	440	0,33	410,52
2,3-4,0	670	0,36	627,79
4,0-6,10	1040	0,38	977,6

Modello Geologico 01 A – micacisti e filladi

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0-1	290	0,35	271,44
1-2,3	340	0,36	318,58
2,3-4,0	510	0,36	477,87
4,0-6,10	850	0,36	796,45

Modello Geologico 01 B - micacisti e filladi

profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)
0-1	390	0,35	365,04
1-2,3	440	0,35	411,84
2,3-4,0	610	0,33	569,13
4,0-6,10	910	0,35	851,76

Modello Geologico 02 - graniti

PROGETTO DEFINITIVO

5. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL TERRENO

Le caratteristiche dei fenomeni vibratorii che possono interessare un edificio variano in modo sostanziale in funzione della natura della sorgente di eccitazione e delle caratteristiche dinamiche dell'edificio stesso. Per una corretta esecuzione delle misurazioni, premessa necessaria per giungere a descrivere completamente il fenomeno e valutare quindi la possibilità che esso produca danni, è necessario tenere conto dei seguenti fattori:

- meccanismo di eccitazione e trasmissione;
- durata del fenomeno;
- natura deterministica o aleatoria del fenomeno;
- distribuzione spettrale dell'energia.

L'**energia immessa** nel terreno dalla **sorgente**, quando questa è esterna all'edificio, genera onde "elastiche" che raggiungono la fondazione modificandosi nel loro contenuto spettrale per effetto delle **caratteristiche fisico-meccaniche del terreno** attraversato.

Il fenomeno si traduce, nella generalità dei casi, in un'**attenuazione dell'intensità** del moto, man mano che ci si allontana dalla sorgente, per effetto delle **proprietà dissipative del terreno** e per un effetto geometrico. Usualmente tale fenomeno è più sensibile per le componenti del moto alle alte frequenze e nei terreni incoerenti e di tipo sciolto e dà quindi luogo ad uno spettro (del moto alla base) caratterizzato da un contenuto spettrale più ricco in basse frequenze.

In alcuni casi, quando si è in presenza di condizioni stratigrafiche particolari, possono verificarsi fenomeni di risonanza che tendono ad amplificare alcuni valori spettrali rispetto ad altri.

La norma **UNI 9614/2017**, che richiama e fa riferimento primario alla **ISO 2631-2:2003** prevede di valutare il livello complessivo di accelerazione ponderata nell'intervallo da 1 ad 80 Hz: se il segnale disturbante è caratterizzato da un'emissione concentrata entro una singola banda di 1/3 di ottava, è sufficiente correggere il valore misurato applicando la correzione riportata in Fig. 3.4 (ad esempio essa vale -19 dB a 50 Hz). Se viceversa lo spettro è continuo ed esteso a più bande, occorre anzitutto calcolare il livello di accelerazione corretto a ciascuna frequenza, indi sommare energeticamente i livelli di accelerazione alle varie frequenze onde ricavare il valore complessivo:

$$L_{acc,w,tot} = 10 \cdot \lg \left[\sum_i 10^{(L_{acc,i} + C_i)/10} \right]$$

Questa metodica rende tuttavia le cose molto complicate in presenza di fenomeni di propagazione che, come abbiamo visto, producono un'attenuazione con la distanza che dipende fortemente dalla frequenza. Occorre, infatti, effettuare un calcolo separato della propagazione a ciascuna frequenza, e ricalcolare poi, punto per punto, il livello di accelerazione complessiva ponderata.

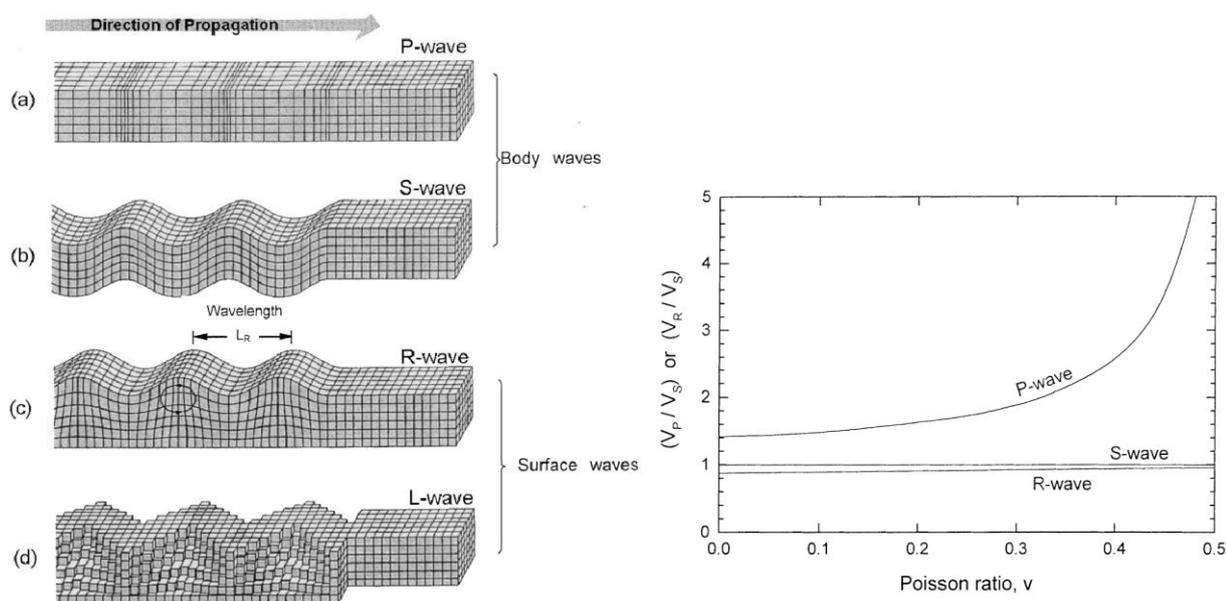
Le vibrazioni si propagano nel terreno circostante, alla zona della sorgente, subendo un'attenuazione dipendente dalla natura del terreno, dalla frequenza del segnale, e dalla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto.

PROGETTO DEFINITIVO

Si deve distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale:

- a) Onde di compressione (onda P)
- b) Onde di taglio (onda S)
- c) Onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L)

I primi due tipi sono onde di volume ("body-waves"), mentre le onde di superficie, come dice il nome, si propagano sull'interfaccia fra due strati con diverse proprietà meccaniche, principalmente quindi sulla superficie di separazione fra terreno ed aria. La seguente figura mostra schematicamente i diversi tipi di onde.



La velocità di propagazione dei diversi tipi di onde non è la stessa: le onde di compressione (onde P) sono le più veloci, mentre le onde di taglio e di superficie viaggiano con velocità più basse, in dipendenza del valore del modulo di Poisson del terreno. La seguente figura mostra il rapporto fra velocità di propagazione delle onde P ed R riferito alla velocità di propagazione delle onde di superficie S.

Ne consegue che l'onda che maggiormente interagisce con gli elementi strutturali (fondazioni, murature portanti, tramezzi e solai) degli edifici sono le onde di superficie Vr.

Nell'effettuare un calcolo analitico della propagazione di vibrazioni si effettuano diverse ipotesi semplificatrici:

- si considera il terreno omogeneo e isotropo
- la propagazione dell'energia vibrazionale avviene sulla superficie del suolo per mezzo di onde di Rayleigh; l'effetto delle onde primarie, secondarie e di Love è trascurato
- ogni sorgente emette energia vibrazionale in superficie in modo omnidirezionale.

PROGETTO DEFINITIVO

6. MODELLO DI PROPAGAZIONE DELL'ONDA NEL TERRENO

Il modello di propagazione impiegato, valido per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R) è basato sulla seguente formulazione:

$$a(d, f) = a(d_0, f) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^n \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot f \cdot \eta / c \cdot (d-d_0)}$$

In cui η è il fattore di perdita del terreno, c la velocità di propagazione in m/s, f la frequenza in Hz, d la distanza in m e d_0 la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione.

L'esponente n è funzione della tipologia di sorgente e dalla profondità. Pertanto, per **sorgenti poste in superficie** (es. fondazioni superficiali, scavi poco profondi, etc) come nel caso in progetto si assume $n=0,5$ e $n=1$ per sorgenti profonde (fondazioni su pali, perforazioni, etc).

Il fattore di smorzamento o di perdita del terreno η è funzione della natura del terreno ed è in generale pari a 0,01 per sabbie, ghiaie, o simili e 0,1 per gli elementi lapidei.

Tipo di terreno	η
Roccia	0.01
Sabbia, ghiaia, ciottoli	0.1
Limi, argille	0.2 -0.5

7. VALUTAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI NEL SITO IN PROGETTO

Sulla base dei dati relativi ai singoli modelli geologici rappresentativi del sito di interesse si sono definiti i valori del fattore di smorzamento η e dell'esponente n di seguito riportati.

Poiché i lavori interesseranno solo gli strati superficiali verranno valutate le vibrazioni prodotte dai mezzi meccanici fino a 2m tenendo conto degli sismostrati rilevati e delle relative velocità V_r calcolate per ognuno di essi.

Modello Geologico 01 A - micacisti e filladi	profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	η	n
	0-1	370	0,35	346,32	0.05	0.5
	1-2,3	440	0,33	410,52	0.05	0.5
	2,3-4,0	670	0,36	627,79	0.05	0.5
	4,0-6,10	1040	0,38	977,6	1	1

Mod. GEO_01A_1

Mod. GEO_01A_2

Modello Geologico 01 B	profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	η	n
	0-1	290	0,35	271,44	0.05	0.5
	1-2,3	340	0,36	318,58	0.05	0.5

Mod. GEO_01B_1

Mod. GEO_01B_2

PROGETTO DEFINITIVO

	2,3-4,0	510	0,36	477,87	0.05	0.5
	4,0-6,10	850	0,36	796,45	1	1

Modello Geologico 02 - graniti	profondità in m (da-a)	Vs (m/sec)	v	Vr (m/sec)	η	n
	0-1	390	0,35	365,04	0.05	0.5
	1-2,3	440	0,35	411,84	0.05	0.5
	2,3-4,0	610	0,33	569,13	0.05	0.5
	4,0-6,10	910	0,35	851,76	1	1

Mod. GEO_02_1
Mod. GEO_02_2

Figura 7.1 - Valutazione Vr rispetto al modello geologico di riferimento

Se da una parte la **caratterizzazione geotecnica di dettaglio** del sito ha permesso di risalire con una buona approssimazione al **reale comportamento della propagazione delle onde** superficiali che generano la maggiore componente vibrazionale, allo stato attuale non è possibile effettuare **misure dirette sulle configurazioni di cantiere** previste (macchine e attrezzature) per **l'assenza di mezzi analoghi nel sito di progetto** ma anche in quelli più prossimi e geologicamente simili **assimilabili a quello in progetto**. Le misure su cantieri **non assimilabili** si riferirebbero a contesti non realistici e perciò **non rappresentativi**.

Pertanto, al fine di poter avere un quadro di riferimento della situazione benché non esaustivo per le ragioni appena espresse, verrà effettuata una disamina degli scenari maggiormente impattanti attraverso l'utilizzo di dati di letteratura (ammessa dalla norma – App.C punto C.4) rimandando alla fase esecutiva l'effettuazione di tutte le **misure dirette e relative elaborazioni** da effettuarsi secondo quanto previsto al punto 6 e 8 della UNI 9614/2017.

8. SORGENTI DI VIBRAZIONE

La norma UNI 9614/2017 al punto 5 suddivide le sorgenti per tipologia in funzione di 1) posizione rispetto agli edifici, 2) funzione, 3) rispetto alle caratteristiche della durata della vibrazione prodotta ovvero in funzione al periodo di attività della sorgente. Nel caso specifico in studio le sorgenti sono:

- rispetto alla posizione – **esterne agli edifici;**
- rispetto alla funzione – **legate ad attività non essenziali e legate ad attività che non possono essere contemplate tra quelle interrompibili con successivi danni ad impianti, pericolo di incidenti e danni a produzioni.**
- rispetto al periodo di attività della sorgente – **tra le sorgenti temporanee presenti per gran parte della giornata (cantieri).**

8.1. ANALISI DELLE FASI DI CANTIERE PER LA COSTRUZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

In fase di valutazione previsionale per quantificare il potenziale impatto delle vibrazioni relativo alla fase di costruzione e di installazione dei generatori si fa riferimento ad un programma di massima delle attività di cantiere ed in particolare alle fasi di lavorazione che possono risultare maggiormente gravose sotto il profilo vibratorio perché, ad esempio, comprendono l'impiego di attrezzature e macchinari che devono funzionare all'aperto.

In particolare, la fase di sbancamento preliminare alla erezione delle torri di supporto agli aerogeneratori e di getto di calcestruzzo per costituire le platee e le piazzole delle torri medesime, costituisce potenzialmente una delle fasi di attività più importanti e potenzialmente impattanti, senza sottovalutare quella relativa alla movimentazione di attrezzature e mezzi mediante autocarri che andranno ad incidere sulla viabilità. Si prevede infatti l'impiego di escavatori, rulli vibranti, pale cingolate, beton-cars, attrezzi ed utensili manuali. Inoltre, il cantiere può indurre un incremento di traffico stradale sulla viabilità locale.

Tali attività non vengono svolte simultaneamente in tutti i siti di installazione degli aerogeneratori, ma vengono compiute un sito per volta ed inoltre, benché la valutazione degli impatti negli scenari a seguire sarà fatta considerando la contemporaneità di attività dei mezzi, questo nella realtà non avviene.

Le attività saranno svolte unicamente durante il periodo diurno ed in normale orario lavorativo e, pertanto, **non si fa riferimento al periodo notturno. Non sono altresì previsti, in questa fase lavorazioni nei giorni festivi.** Tuttavia, se per qualche ragione non prevedibile in questa fase, si dovesse necessariamente lavorare in uno dei periodi sopracitati, verrà messo in atto quanto contenuto nel **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

PROGETTO DEFINITIVO

8.2. MODELLO PER IL CALCOLO DELL'IMPATTO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE

Sulla base del cronoprogramma indicato negli elaborati progettuali con riferimento allo spettro di emissione delle macchine operatrici e dell'incremento previsto nei flussi di traffico stradale, è stato sviluppato un modello di calcolo previsionale dell'impatto della componente vibrazioni da applicare a scenari individuati come rappresentativi delle attività e indicati di seguito, in prossimità dei ricettori maggiormente sensibili.

Sono stati individuati i seguenti scenari maggiormente impattanti dal punto di vista della propagazione di vibrazioni:

Scenario 01 – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili sottostazione di trasformazione;

Scenario 02 – attività di posa dei caivodotti;

Scenario 03 – attività di realizzazione delle fondazioni delle torri di supporto;

Gli scenari di calcolo considerano la **contemporaneità nell'utilizzo dei mezzi di cantiere** (condizione più sfavorevole) e le **peggiori condizioni di trasmissione delle vibrazioni dal mezzo substrato** in un orario di lavoro compreso tra le 7:30 e le 13:00 e poi tra le 14:00 e le 16:30. Il calcolo è stato effettuato utilizzando la regola cosiddetta **SRSS** ovvero *Square Root of the Sum of Squares* che viene utilizzata in presenza di sorgenti multiple. Normalmente i mezzi d'opera non saranno impiegati continuativamente e contemporaneamente. Inoltre, durante l'orario di cantiere è previsto che i macchinari abbiano delle fermate legate alle necessità produttive.

La norma **UNI 9614/2017 prevede che sia considerata periodo diurno la fascia oraria dalle 6.00 alle 22.00** (punto 3.17) e **fissa il limite per la massima accelerazione a 7,2 mm/s²** (punto 9.1).

Altresì nella valutazione del disturbo e sempre cautelativamente, i macchinari verranno considerati posizionati nel punto più vicino al ricettore in relazione all'attività da essi svolta.

Non è tuttavia possibile escludere il verificarsi di eventuali superamenti temporanei dei limiti differenziali solamente in occasione di specifiche o particolari lavorazioni svolte in vicinanza dei ricettori.

In questi casi si deve fare riferimento alla **gestione di attività temporanee (cantieri) in deroga ai limiti massimi** previsti dalla norma **UNI 9614/2017** al punto 9.5 e contenuta nell'**Appendice C** che prevede la stesura del **Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere** da redigere prima dell'inizio dei lavori.

Al fine della valutazione della distanza oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alle soglie limite dettate dalla norma si sono prese in considerazione le caratteristiche geologiche dei modelli MOD.GEO 01A_2 (micascisti e filladi) e MOD.GEO 02_2 (graniti) maggiormente cautelativi.

PROGETTO DEFINITIVO

8.3. SCENARI DI RIFERIMENTO DI CANTIERE

Scenario 01 – attività di sistemazione della rete viaria e opere civili sottostazione di trasformazione: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

- Pala cingolata
- Autocarro
- Rullo vibrante
- Escavatore

Scenario 02 – attività di posa dei cavidotti: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

- Escavatore
- Autocarro

Scenario 03 – attività di realizzazione delle fondazioni e piazzole delle torri di supporto agli aerogeneratori: Il modello previsionale utilizzato per la valutazione dell'impatto dovuto a vibrazioni comprende le seguenti macchine operatrici:

- Escavatore
- Martellone idraulico
- Autocarro
- Pala cingolata
- Betoniera*
- Gru*

	Distanza minima oltre la quale il valore di vibrazione è inferiore alla soglia limite di 7,2 mm/sec ²
Scenario 01	162 m
Scenario 02	101 m
Scenario 03**	185 m

Tabella 8-1 Valutazione distanza di sicurezza per le vibrazioni

*Gli spettri di emissione per questi macchinari non sono reperibili in letteratura, pertanto per la loro valutazione si rimanda alla campagna di misure prevista nel piano di cantierizzazione in fase esecutiva.

** valore indicativo ottenuto senza il contributo di autobetoniera e gru.

8.4. SCENARI DI RIFERIMENTO DI ESERCIZIO

Relativamente alla valutazione del disturbo in fase di esercizio e perciò dovuto a vibrazioni provenienti dal funzionamento degli aerogeneratori, poiché queste vengono totalmente dissipate

PROGETTO DEFINITIVO

dai corpi di fondazione non propagandosi nell'ambiente circostante, non si manifestano problematiche legate al disturbo alla persona e/o a eventuali danni alle strutture.

Qualora, in fase di esercizio, si dovesse eseguire un intervento di manutenzione straordinaria che prevede l'utilizzo di macchine operatrici le cui vibrazioni in fase di attività sono potenzialmente impattanti, verrà opportunamente redatto un apposito piano di monitoraggio e si farà riferimento a tutte le direttive previste dalla UNI 9614/2017 all'Appendice C per la gestione degli effetti prodotti da vibrazioni in attività temporanee (cantieri).

9. LIMITI DI RIFERIMENTO

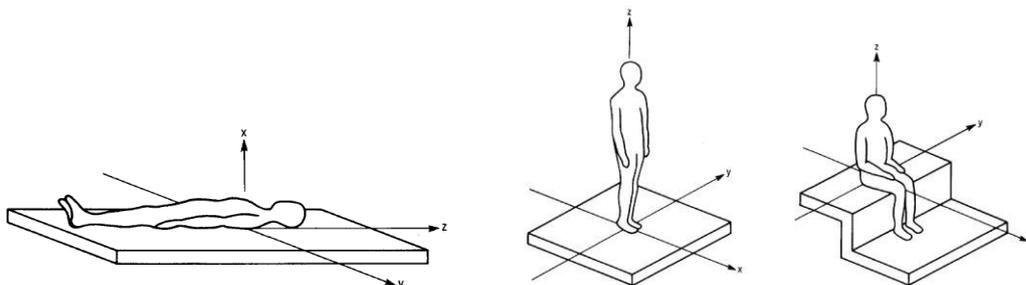
Il problema della percezione umana delle vibrazioni in termini di disturbo (annoyance) dipende dalla tipologia di attività svolta e dall'intensità e frequenza che essa genera e che produce la vibrazione. I limiti di riferimento sono riportati dalla **norma UNI 9614/2017** che suddivide gli edifici in base alla loro destinazione d'uso in 5 classi, ipotizzando quindi una differente sensibilità alle vibrazioni e al punto 9, ai fini della valutazione del disturbo dovuto a vibrazioni e indica dei limiti per le accelerazioni con riferimento alla tollerabilità a fenomeni vibratorii.

Di seguito vengono riportati per i diversi tipi di ambiente e per i diversi periodi della giornata i valori limite di disturbo.

Ricettore	Periodo	Accelerazione ponderata della sorgente (mm/sec ²)
Ambienti ad uso abitativo (punto 9.1)	Diurno	7,2
	Notturmo	3,6
	Diurno di giornate festive	5,4
Luoghi lavorativi (punto 9.2.1)	Non specificato	14
Ospedali, case di cura ed affini (punto 9.2.2)	Non specificato	2
Asili e case di riposo (punto 9.2.3)	Limitatamente ai periodi in cui è previsto riposo diurno	3.6
Scuole (punto 9.2.4)	Limitatamente nel periodo di fruizione	5,4

Figura 9.1 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

La sensibilità umana è variabile con la frequenza, e dipende dall'asse cartesiano considerato rispetto al riferimento relativo al corpo umano. Le curve di sensibilità umana sono codificate dalla norma tecnica UNI 9614/2017, rispetto ai sistemi di riferimento per persone sdraiate, sedute o in piedi, riportato nelle seguenti figure:



PROGETTO DEFINITIVO

Figura 9.2 - Sistema cartesiano di riferimento per persona sdraiata, in piedi o seduta

Il campo di frequenze considerato è 1÷80 Hz. Al segnale di accelerazione rilevato devono essere applicati per le singole frequenze dei valori di attenuazione (curve di ponderazione) al fine di rendere equivalente la percezione umana alle varie frequenze.

Nel caso considerato, tuttavia, la popolazione si troverà esposta indifferentemente su uno dei tre assi, a seconda della giacitura dei soggetti, che è ovviamente non predeterminale e variabile nel corso delle 24 ore. In tali casi, la norma UNI 9614/2017 prevede l'impiego di una curva di ponderazione per asse generico (o meglio, per asse non definibile), che è riportata nella seguente figura.

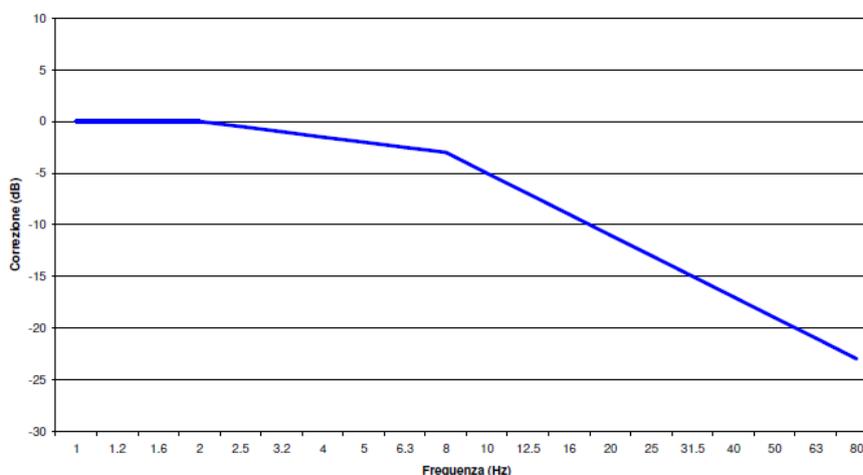


Figura 9.3 - Curva di ponderazione per un asse generico

Per quanto concerne il danno strutturale i limiti presi in considerazione nella norma UNI 9614/2017, risultano più elevati per almeno un ordine di grandezza a ciascuna frequenza, dei limiti individuati dalla norma UNI 9916/2014 nei riguardi del danno potenziale alle strutture. Ne consegue che la verifica dei limiti secondo la norma 9614/2017 esclude il generarsi di effetti dannosi sulle strutture dei ricettori considerati. **Tuttavia, in fase esecutiva, sarà effettuata una campagna di misure sui fabbricati qualificati come ricettori sensibili secondo quanto previsto dalla norma 9916/2014 ai punti 6,7 e 8.**

Di seguito si riportano i Valori di Riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni secondo la DIN 4150 a cui fa riferimento la UNI 9916/2014 al punto 9.

La DIN4150-3 considera 3 classi di edifici:

- 1) Edifici industriali e ostruzioni strutturalmente simili;
- 2) Edifici residenziali e costruzioni simili;
- 3) Costruzioni che non appartengono alle prime de categorie e sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)

E considera due tipi di vibrazione:

PROGETTO DEFINITIVO

- 1) Vibrazione di breve durata;
- 2) Vibrazione permanente

prospetto D.1 Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano alto	Solai Componente Verticale
		Da 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz ¹⁾	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ($f=10$ Hz) a 40 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ($f=50$ Hz) a 50 ($f=100$ Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ($f=10$ Hz) a 15 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ($f=50$ Hz) a 20 ($f=100$ Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ($f=10$ Hz) a 8 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ($f=50$ Hz) a 10 ($f=100$ Hz)	8	3/4

¹⁾ Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.

prospetto D.2 Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2,5

Figura 9.4 - Valori Limite di riferimento per vibrazioni di breve durata e permanenti (9916/2014)

10. RICETTORI

L'analisi dei ricettori è stata effettuata entro un raggio di **1000m** dalle aree di cantiere e dalla viabilità di servizio. Successivamente si sono presi in considerazione gli **scenari di cantiere** maggiormente impattanti e da questi si sono derivate le **distanze massime** oltre le quali le vibrazioni potenzialmente prodotte non superano i valori soglia dettati dalla norma **9614/2017**.

Tali distanze sono state utilizzate inoltre per valutare, secondo la **9916/2014** gli edifici potenzialmente suscettibili di danno secondo quanto previsto dalla norma stessa.

I risultati sono stati raccolti in una tabella di sintesi (Tab. B ricettori Vibrazioni) allegata alla presente e alla quale si rimanda.

PROGETTO DEFINITIVO

11. MODALITÀ DI GESTIONE DEL DISTURBO DOVUTO ALLE VIBRAZIONI

Le attività di cantiere quali il passaggio di veicoli pesanti, le demolizioni, la battitura di pali, ecc. costituiscono una sorgente di disturbo con caratteristiche molto diverse da caso a caso; nella maggioranza dei casi si tratta di fenomeni transitori di breve durata facilmente isolabili e pertanto nella maggior parte dei casi gestibili. Qualora non fosse tecnicamente possibile o economicamente giustificabile mettere in atto soluzioni lavorative differenti a quelle previste e si dovessero verificare condizioni per cui si abbia evidenza del superamento dei limiti di riferimento, in accordo con quanto indicato al punto 9.5 della norma UNI 9614/2017 che dispone la possibilità di **deroghe** a tali limiti concedibili in alcuni casi per **attività temporanee o di cantiere**, verranno attuate le attività previste dalle linee guida all'**Appendice C** della stessa norma.

11.1. CRITERI DI AZIONE E MISURE DI MITIGAZIONE

Sebbene i limiti di riferimento relativi al disturbo non siano, in certi casi, esplicitabili, in generale il primo criterio con cui affrontare la gestione del disturbo generato da vibrazioni è che:

- **le vibrazioni dovrebbero essere contenute in modo da evitare danni alle strutture più prossime** (la norma di riferimento per tali valutazioni è la UNI 9916/2014)

Per quanto concerne invece il disturbo alle persone, il primo criterio che dovrebbe essere garantito è

- **Il rispetto del periodo di riposo notturno**

ovvero evitare tutte quelle attività che possano portare al risveglio durante il periodo dalle ore 22.00 alle ore 6.00 o, in adiacenza a strutture quali scuole, case di riposo in cui è previsto il riposo pomeridiano per la durata dello stesso.

Un altro criterio da tenere in considerazione è

- **la valutazione di modalità esecutive a minore impatto e posizionamento di sorgenti fisse lontano dai ricettori**

ovvero la rivalutazione delle attività lavorative previste con l'intento di abbassare il complessivo livello di vibrazione generato e la dislocazione delle sorgenti a maggiore impatto a distanze maggiori per garantire una maggiore dissipazione della vibrazione immessa.

Risulta evidente che il miglior approccio alla gestione del problema nel suo complesso venga studiato approfonditamente dall'impresa esecutrice dei lavori in base alla propria dotazione di attrezzature e mezzi e alla sua organizzazione. L'analisi preventiva di tutte le situazioni di impatto e delle relative modalità di gestione sarà contenuta in un documento che l'impresa dovrà fornire all'ente o al soggetto controllore prima dell'inizio dei lavori contenente le misure di mitigazione che verranno adottate nell'ambito di una più ampia strategia di gestione dell'impatto e di tutte quelle azioni risolutive anche in presenza di lamentele e/o esposti.

Tale documento individuato con il nome di **PIANO di GESTIONE dell'IMPATTO VIBRAZIONALE di CANTIERE (PGIVC)** ha l'obbiettivo, per quanto ragionevolmente attuabile in relazione agli obbiettivi di progetto, di limitare i livelli di vibrazione così che le residenze interessate

PROGETTO DEFINITIVO

o altri ricettori sensibili siano protetti da eccessivi livelli di vibrazione associati alle attività di cantiere. Di seguito vengono riportati i contenuti minimi richiesti per le lavorazioni in progetto:

1. censimento dei ricettori: deve essere fornita la lista completa e aggiornata dei ricettori ritenuti sensibili e di questi devono essere fornite le seguenti informazioni: destinazione d'uso, attività in esso svolte, caratteristiche costruttive e condizioni di conservazione. I ricettori verranno classificati in base a queste caratteristiche e alle fasce orarie di rispetto del riposo.
2. tipologia di lavorazioni: deve essere stilata una precisa lista delle lavorazioni ed in particolar modo di quelle fasi che prevedono sovrapposizione di sorgenti potenzialmente impattanti. Di essi si dovrà conoscere il potenziale di impatto ottenuto da misure dirette o da dati di letteratura. Questa fase è di fondamentale importanza e propedeutica alla valutazione dell'entità del disturbo e della sua durata.
3. attività informativa preventiva: il piano di gestione dell'impatto vibrazionale di cantiere deve contenere un accurato programma di informazione preventiva rivolto alla popolazione ritenuta sensibile. L'informazione, esplicita mediante i mezzi di divulgazione locali (volantini, riunioni della popolazione, avvisi e/o ordinanze comunali, porta a porta) devono contenere tutti gli elementi necessari alla corretta informazione degli eventi previsti: valori limite, orario delle lavorazioni, durata, tipologia. Le comunicazioni dovranno altresì informare chiaramente che le vibrazioni non saranno tali da recare danni permanenti alle strutture.
4. monitoraggi: prima dell'inizio delle attività di cantiere previste, dovrà essere effettuato un piano di monitoraggio con misure dirette su ciascuna di quelle più impattanti con particolare riferimento quelle la cui interferenza può potenzialmente generare superamenti delle soglie limite. Le modalità esecutive delle misure, il numero e la successiva elaborazione dei dati deve essere eseguita con le modalità descritte al punto 6 della UNI 9614/2017. La strumentazione da utilizzare avrà le caratteristiche previste al punto 7 della stessa norma e sarà opportunamente calibrata e tarata, dandone evidenza allegando al piano di monitoraggio la documentazione rilasciata dall'ente certificatore. Qualora ci si trovasse in presenza di lamentele e/o esposti, al fine di verificare con la massima cura l'entità del disturbo, il tecnico misuratore utilizzerà il questionario predisposto all'Appendice B della UNI 9614/2017, finalizzato ad una raccolta dati efficace e completa.
5. mitigazioni: il PGIVC dovrà contenere tutte le misure di mitigazione individuate per limitare il disturbo generato dalla vibrazione. Sarà indicata al suo interno un'analisi ex-ante ed ex-post da cui si possa evincere l'efficacia delle misure di mitigazione individuate.
6. controlli: il PGIVC deve prevedere un piano di controllo e audit interno finalizzato alla corretta applicazione delle misure di mitigazione e in generale di tutte le azioni strutturali e non strutturali in esso evidenziate. Verrà predisposto un accurato calendario minimo dei controlli da attuare per tutta la durata delle lavorazioni.

Per quanto non esplicitamente esposto nella presente, si rimanda all'Appendice C della norma UNI 9614/2017.

PROGETTO DEFINITIVO

11.2. SPETTRI DI EMISSIONE DELLE MACCHINE OPERATRICI

11.2.1. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI DI UN RULLO COMPRESSORE

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un **rullo vibrante** e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.8.3.

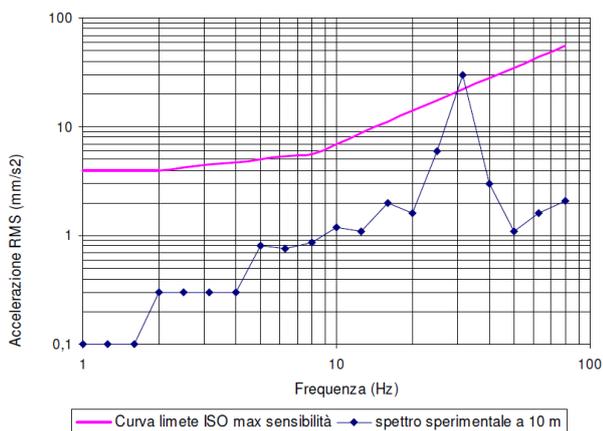


Figura 11.1 - Spettro di emissione della sorgente di un rullo vibrante a 10m dall'asse di cantiere

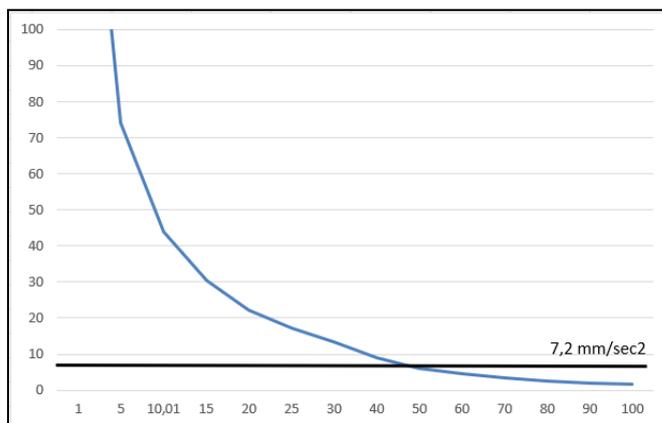
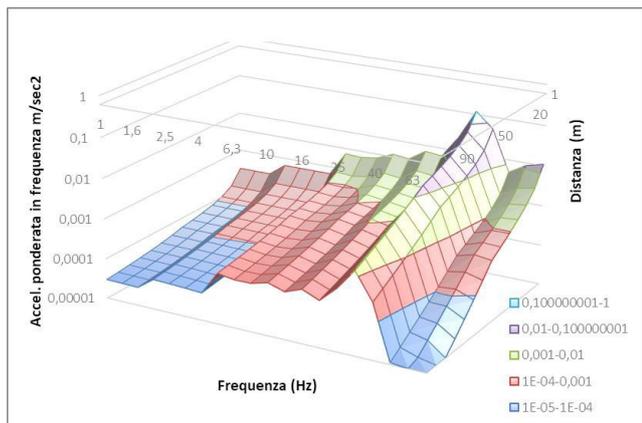


Figura 11.2 - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_01A_2

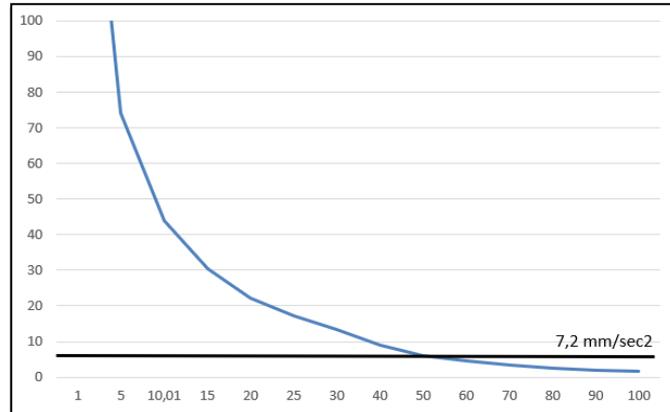
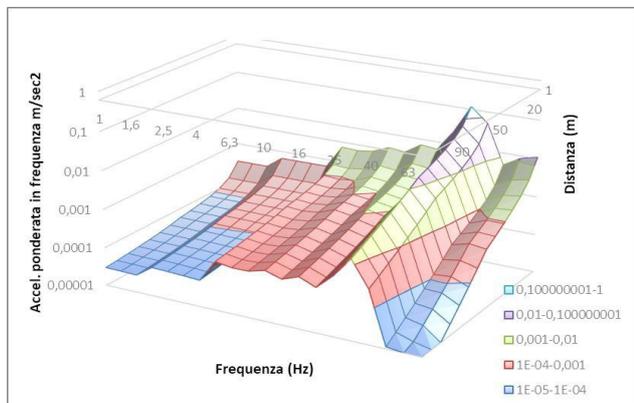


Figura 11.3 - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_2

PROGETTO DEFINITIVO

11.2.2. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONI INDOTTE DA UNA PALA CINGOLATA

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per una **pala cingolata** e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.9.

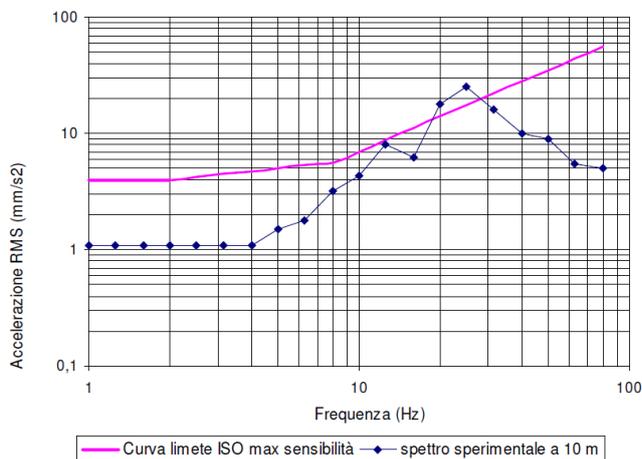


Figura 11.4 – Spettro di emissione della sorgente di una pala cingolata a 10m dall'asse di cantiere

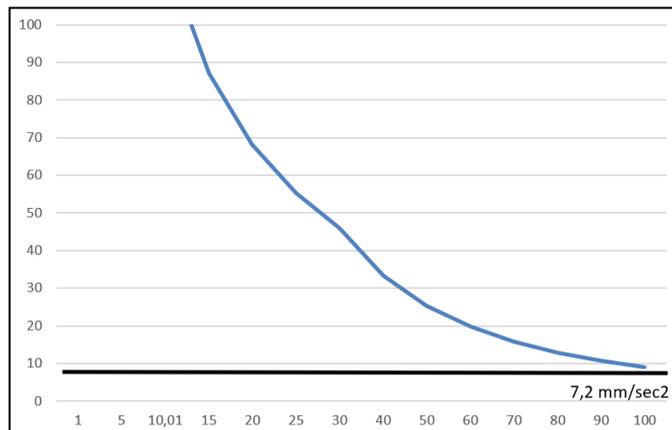
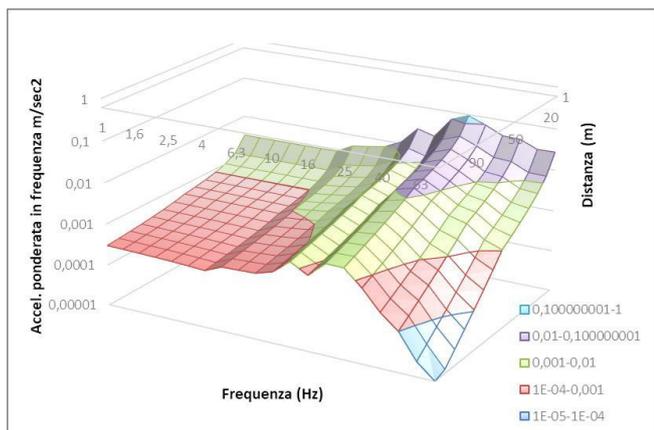


Figura 11.6 - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_01A_2

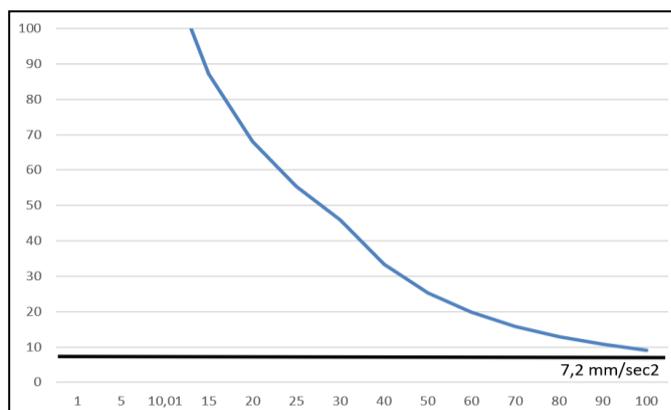
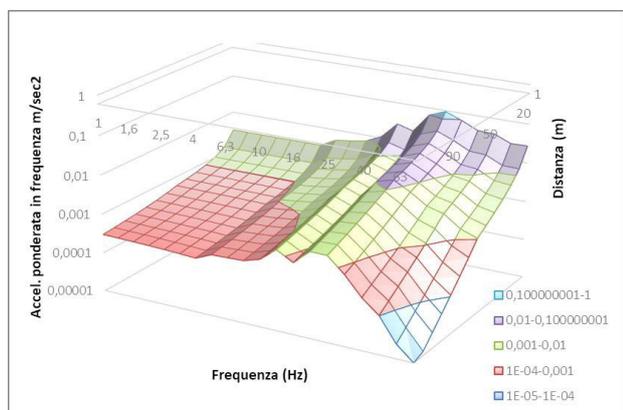


Figura 11.5 - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_1

PROGETTO DEFINITIVO

11.2.3. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONE DA UN AUTOCARRO

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un **autocarro** e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.9.

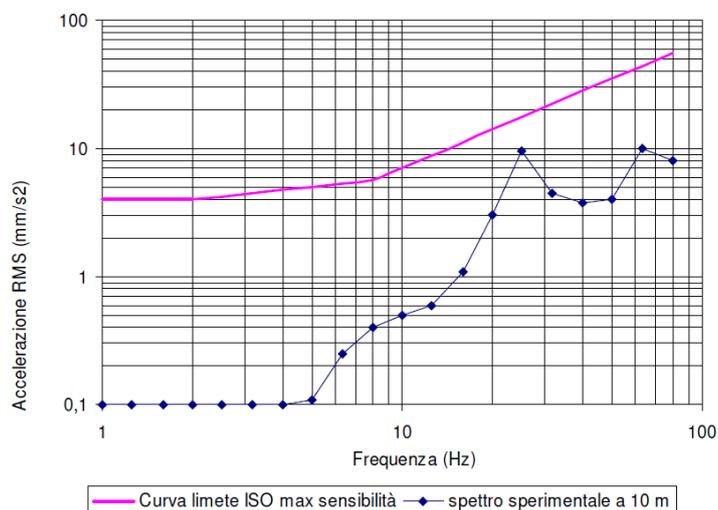


Figura 11.7- Spettro di emissione della sorgente di un autocarro a 10m dall'asse di cantiere

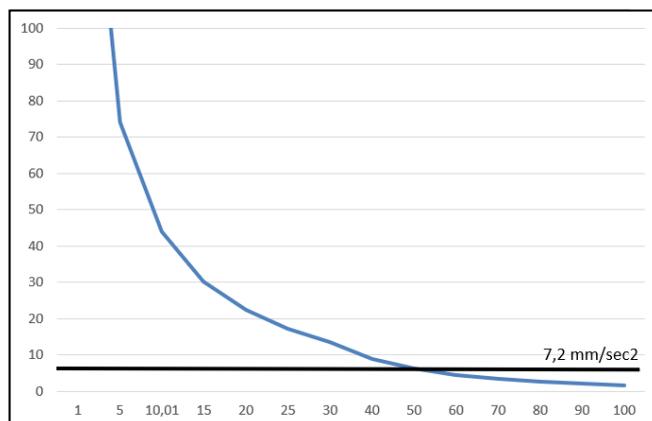
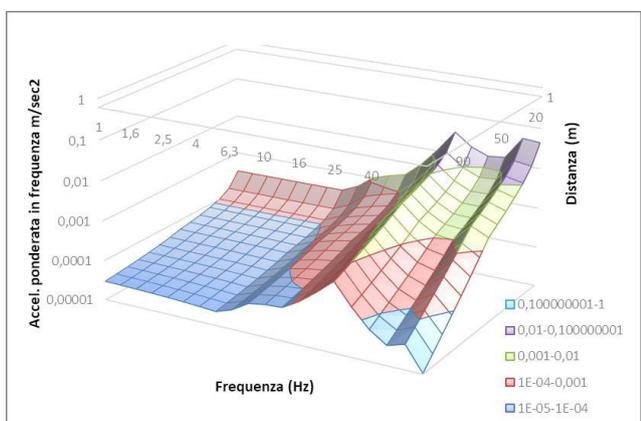
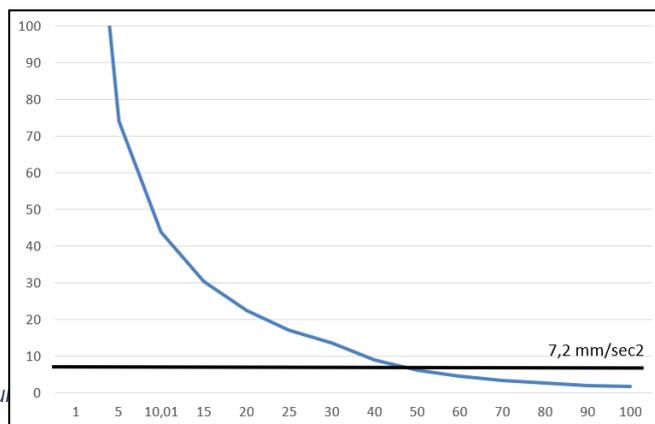
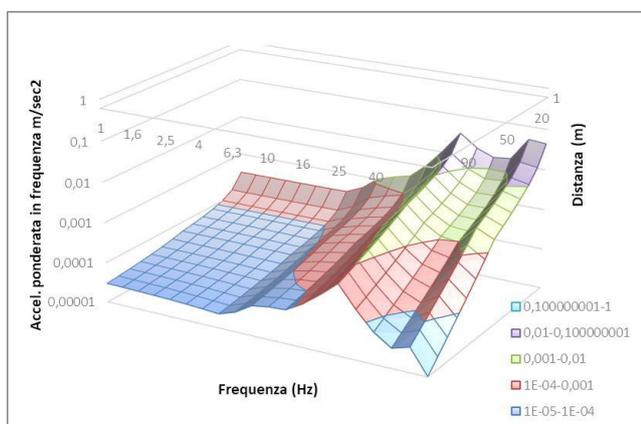


Figura 11.8- Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_2

PROGETTO DEFINITIVO

11.2.4. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONE DA UN ESCAVATORE CINGOLATO

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un **escavatore cingolato** e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.9.

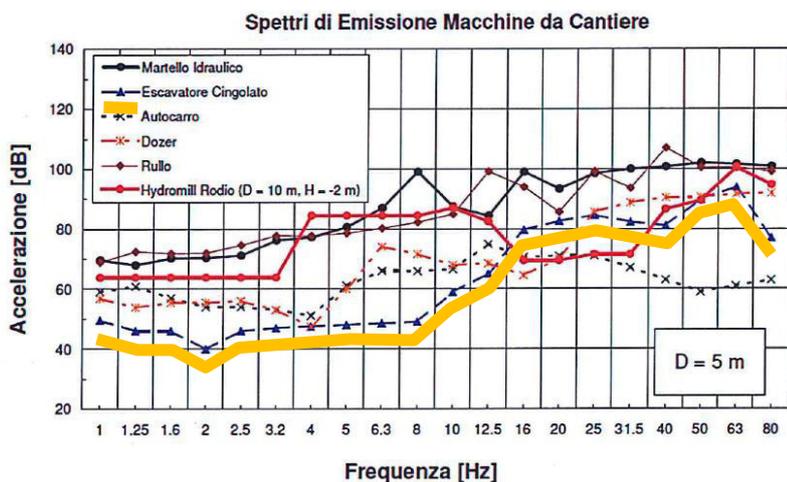


Figura 11.10 - Spettro di emissione della sorgente di un escavatore cingolato a 5m dall'asse di cantiere

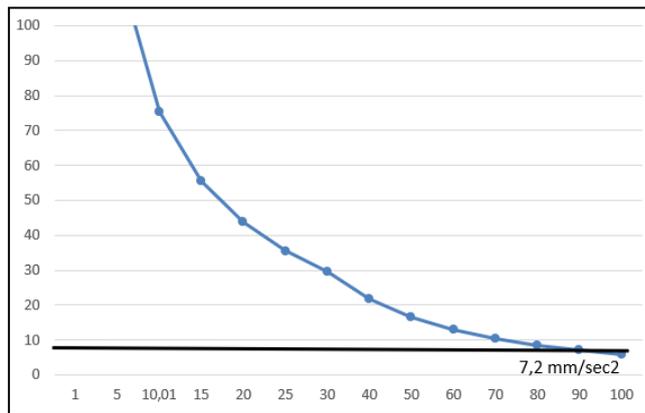
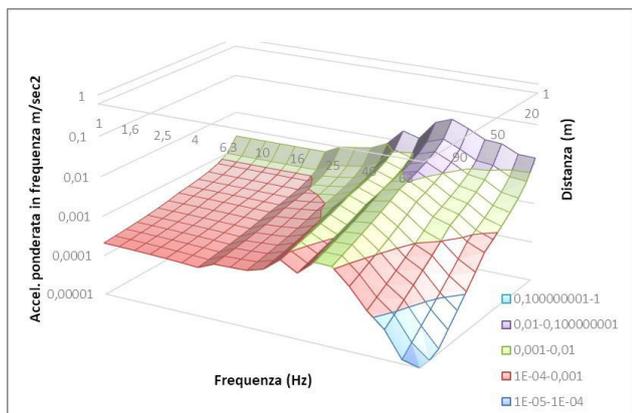


Figura 11.11- Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_01A_2

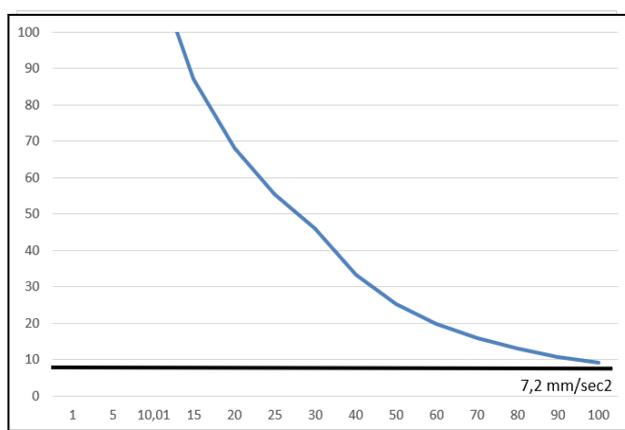
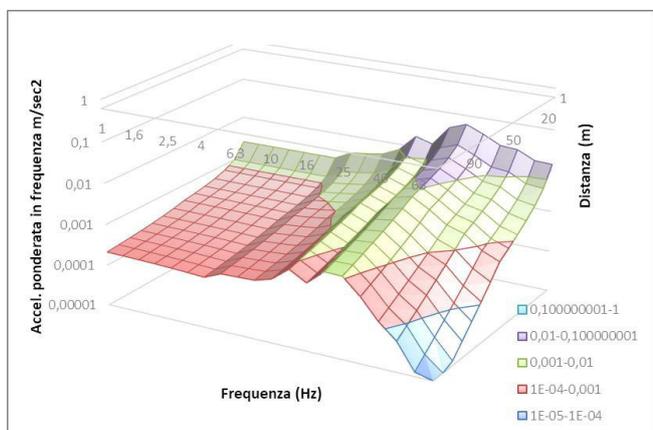


Figura 11.12- - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_2

PROGETTO DEFINITIVO

11.2.5. PROPAGAZIONE DELLE VIBRAZIONE DA UN MARTELLO IDRAULICO

Vengono di seguito riportati i risultati del modello previsionale descritto per un **martello idraulico** e per i modelli geologici di riferimento di cui al cap.9.

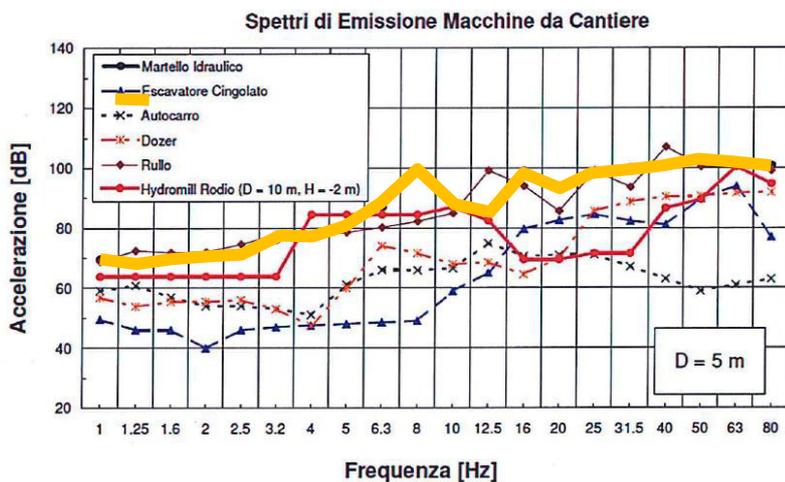


Figura 11.13- Spettro di emissione della sorgente di un martello idraulico a 5m dall'asse di cantiere

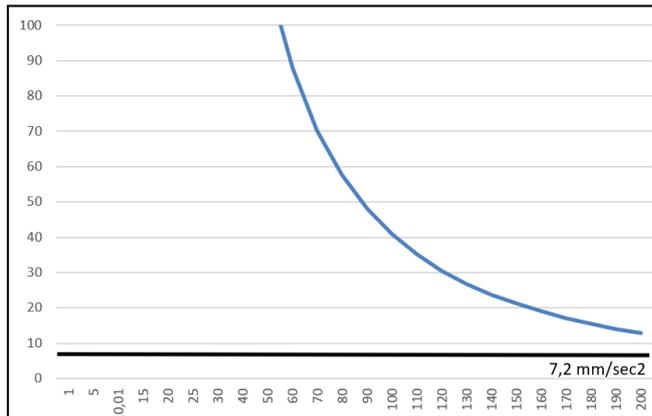
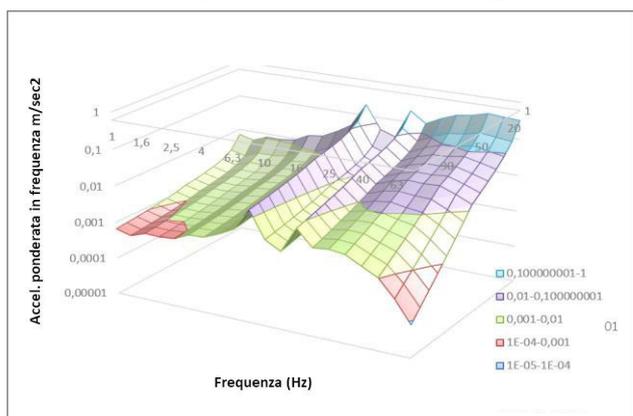


Figura 11.14- Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_01A_2

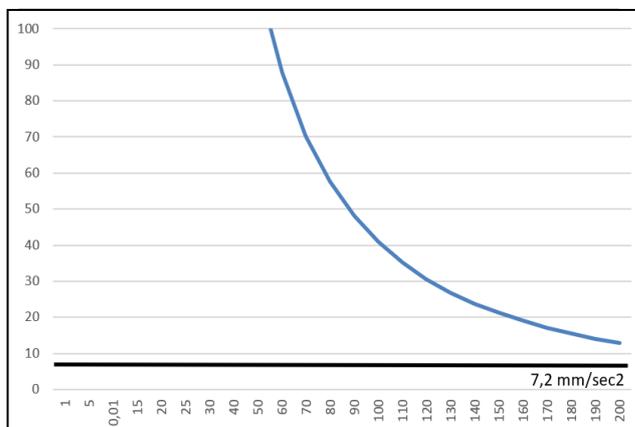
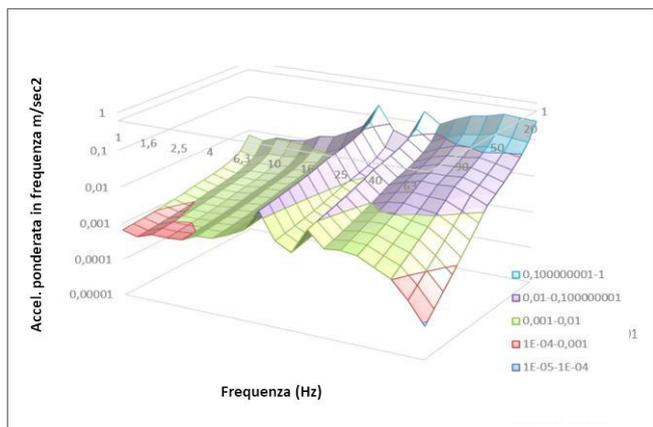


Figura 11.15- - Modifica dello spettro dell'accelerazione ponderata in funzione della distanza e della frequenza e curva di propagazione delle vibrazioni mod.GEO_02_2

PROGETTO DEFINITIVO**12. CONCLUSIONI**

Lo studio ha permesso di analizzare il potenziale impatto dovuto a vibrazioni prodotte dalle macchine operatrici, in accordo con quanto previsto alle norme 9416/2017 e 9916/2014, che verranno impiegate per la realizzazione del Parco Eolico e successivamente durante il suo esercizio.

A tal fine e con l'intento di valutare efficacemente le attività previste sono stati individuati quattro scenari di riferimento per la fase di cantiere. Quindi sono state valutate le distanze oltre le quali il livello di vibrazione prodotto complessivamente dalle attività risulta minore dei limiti prefissati dalla norma ovvero con accelerazione ponderata **minore di 7,2 mm/sec²**.

L'analisi porta ad un range di distanze di sicurezza compreso tra i **101m** (posa dei cavidotti) e i **185m** (fase di realizzazione delle fondazioni delle torri a supporto degli aerogeneratori e delle piazzole di servizio).

All'interno di queste distanze non ricadono ricettori sensibili quali abitazioni.

I risultati dello studio mostrano che la componente vibrazioni non comporta in generale incompatibilità di alcuna natura tra le attività previste e l'assetto ambientale esistente sia nei confronti della salute umana e quindi nella percezione del disturbo, che relativamente ad eventuali ripercussioni sulle strutture.

Tuttavia, eventuali superamenti dei limiti, ammessi dalla normativa per attività temporanee quali i cantieri, verranno gestite secondo quanto riportato nel Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere da redigere prima dell'inizio dei lavori.